

ORIGINE E COSTITUZIONE CHIMICOFISICA

DELLA MATERIA VIVENTE ⁽¹⁾

POR EL ACADÉMICO DOCTOR FELIPE BOTTAZZI
 Profesor de Fisiología de la Universidad de Nápoles y Académico de Italia

I

INTRODUZIONE

La distinzione dello stato colloidale della materia dallo stato cristalloide fu intuita dal nostro Francesco Selmi, poi magistralmente dichiarata da Thomas Graham, e ha raggiunto in questi ultimi anni, per l'opera assidua di una schiera di ricercatori, estensione e profondità inopinate. Essa è un dono che la chimica fisica ha fatto alla biologia e all'industria.

Per apprezzare il valore che la conoscenza delle proprietà colloidali ha per le scienze biologiche, basti pensare che gli organismi viventi, dagl'infimi ai più evoluti, sono costituiti di materia colloidale, specialmente di colloidi proteici, di guisa che noi oggi non si concepisce nemmeno materia vivente che non sia colloidale, vita non associata allo stato colloidale della materia, particolarmente a quelle sostanze organiche estremamente complesse che diconsi sostanze proteiche, o albuminose, e che sono colloidi per eccellenza.

Se così è, l'investigazione delle proprietà chimicofisiche dei sistemi colloidali, così inorganici come organici, dei possibili modi di loro formazione o evoluzione, dell'influenza che possono esercitare sull'economia della natura, è di primaria importanza, e deve precedere qualsiasi tentativo di formulare una teoria, che non sia romantica, circa le condizioni fisiche e chimiche della comparsa, sulla terra, della materia organica estremamente complessa, con la quale la vita si presenta oggi a noi con-

(¹) Conferencia leída en sesión pública de la Academia bajo los auspicios del Instituto Argentino de Cultura Itálica, el día 24 de septiembre de 1934. El acto tuvo lugar en el aula Wenceslao Escalante siendo presentado el orador por el académico doctor Leopoldo Giusti, cuyo discurso se publicará en la segunda parte de este volumen.

giunta; qual siasi tentativo di tradurre in termini concreti di concetti chimicofisici i fenomeni che si svolgono negli organismi viventi.

Di teorie romantiche circa l'origine della vita abbonda la storia del pensiero umano; e tali sono, non solamente le più antiche, formulate da poeti o da filosofi della natura, ma anche alcune delle moderne, sebbene proposte da scienziati autorevolissimi. Di queste, però, vi farò appena un cenno, mio precipuo intendimento essendo di attenermi ai fatti, ai risultati obiettivi delle più recenti indagini scientifiche, e di far uso con estrema discrezione di analogie e di non troppo ardite generalizzazioni empiriche, nel parlarvi degl'intimi rapporti che deve aver avuto, con lo stato colloidale della materia, la primitiva comparsa, sulla terra, di quella materia organica altamente complessa che ha servito per la costruzione degli organismi viventi. Tre sono le teorie, circa l'origine della vita, della materia vivente, sulla terra, che debbono essere rammentate: 1° la teoria creazionistica; 2° la teoria della generazione spontanea; e 3° quella cosmozoica o della panspermia.

II

DIFFUSIONE DELLA MATERIA VIVENTE NELLA BIOSFERA

La vita; quella fisiologica di cui speriamo di scoprire il complicato meccanismo, alla quale tutti ci riferiamo, parlandone noi, ricercatori sperimentali, non filosofi, della natura; ha suo imperiale dominio nella biosfera, che è quell'insieme di strati superficiali, solidi, liquidi e gassosi, del globo terrestre, nei quali avvengono peculiari trasformazioni, in energia meccanica termica chimica elettrica ecc., dell'energia raggiante del sole, che perciò è la fonte di tutto ciò che avviene sulla terra, compreso l'avvenimento più grandioso, che è la formazione di quella materia organica estremamente complessa e allo stato colloidale con cui è associata la vita.

Innumerevoli sono le radiazioni, che dagli astri, attraverso gli spazii intersiderali, piovono sulla terra, penetrandovi più o meno addeutro. Ma delle quaranta ottave, in cui raggruppiamo le radiazioni solari, sole quattro e mezzo circa noi siamo capaci di percepire.

Ufficio importante esercitano nella biosfera le radiazioni ultraviolette, e le infrarosse; ma importanza speciale va attribuita alle intermedie, che compongono lo spettro visibile, perchè le piante verdi trasformano la loro energia in quella di composti organici caratterizzati da alto potenziale chimico, di cui determinano la formazione. E poichè dal mondo vegetale dipende la vita animale, quella attività trasformatrice, deve essere stata, dunque, la condizione fondamentale per cui la crosta ter-

restre si è ricoperta di un'immensa coltre di materia viva e di composti da essa derivanti. L'energia raggiante del sole scuote l'inerzia di quei corpi semplici e stabili che sono l'acqua e l'anidride carbonica, li rende reattivi, e li trasforma in altri complessi, nei quali si accumula sotto forma di energia chimica utilizzabile dagli organismi animali e vegetali. Così è che la materia vivente, organizzata in miriadi di forme diverse, si è sparsa nella biosfera come un'ondata travolgente, esercitandovi una pressione irresistibile. Essa si espande su ogni più vasta distesa di terre, e invade i più profondi abissi dei mari. E tale sua potenza diffusiva e penetrativa proviene da una incoercibile forza interiore, che è la portentosa sua facoltà di accrescersi e riprodursi, la quale, a sua volta, è conseguenza della virtù che possiede di assimilare la materia eterogenea non vivente, vivificandola.

Si calcola che il peso della intera crosta terrestre, per lo spessore di soli sedici chilometri, sia eguale a centomila milioni di miliardi di quintali, e che della biosfera propriamente detta, che è parte della intera crosta, la materia vivente costituisca circa l'uno per cento, in media, sebbene possa trovarsi addensata in qualche parte più e meno altrove. Ebbene : se io voglia darvi una pallida idea della potenza di moltiplicazione degli organismi viventi, mi basti dire che una quantità di materia organica eguale al peso della biosfera potrebbe esser prodotta da una sola specie di organismi, in un tempo geologicamente irrilevante, ove le condizioni ambientali fossero favorevoli; per esempio, dal vibrione del colera, o dal *Bacterium coli*, in sole 45 ore; da una diatomea verde, la *Nitzschia putrida*, che abita i fanghi marini ed è mixotrofa, in 24 giorni; da un animale dotato di potere moltiplicativo immensamente minore, qual'è l'elefante, in 1300 anni, tempo tuttavia trascurabile al confronto coi periodi geologici.

Nella realtà, nessuna specie di viventi, da sola, produce sì grandi masse di materia organizzata. Ma è pur certo, che enormemente grande è quella, che a un dato momento esiste nella biosfera, e che, tuttavia, è trascurabile al paragone di quanta ne è elaborata nel corso di un anno, e più ancora di quella che è stata elaborata dall'inizio fino ad oggi.

La pressione vitale trova argine nelle condizioni indispensabili per la formazione di nuova materia vivente : nello spazio che deve occupare, nelle materie che deve assimilare per crescere, materie che abbondano, sì, nella biosfera, ma non sono illimitate; nello spessore degli strati, che l'energia raggiante del sole può attraversare senza essere assorbita; nei cataclismi, e nella inconsulta opera devastatrice dell'uomo, che producono immense lacune nel mondo dei viventi, lacune che la vita tende a colmare con vertiginosa celerità.

La vita è rappresentata nella idrosfera e nella litosfera da vaste agglomerazioni di organismi. Nella prima distinguiamo, innanzi tutto, lo strato

planctonico, agglomerazione superficiale di viventi estesa sopra un'area di centinaia di milioni di chilometri, dello spessore di alcune decine di metri, situata a una profondità variabile dai 20 ai 50 metri dalla superficie, costituente una massa del peso di circa un milione di miliardi di tonnellate (10^{15} - 10^{16} tonnellate). Negli abissi dell'Oceano, esiste poi quell'altra agglomerazione vitale, non meno, anzi più abbondante, che dicesi *benthos*. Dobbiamo, finalmente, rammentare l'*agglomerazione littoranea*, che in certi luoghi è rappresentata da vere foreste d'alghie e di altre erbe marine, e da una infinita varietà di animali; nonchè l'*agglomerazione sargassica*.

Sulla terra ferma, esiste in realtà una sola agglomerazione vitale, quella della flora e della fauna che ne popolano il suolo e la ricoprono d'uno strato presso che ininterrotto. In alcune regioni esistono, è vero, solo vestigi di vita, come sui ghiacciai e tra le nevi eterne, nei deserti, sulle sommità delle alte montagne; ma queste regioni poverissime di vita non costituiscono più del 10 per cento della superficie della terra ferma. Sulle rimanenti parti, un'agglomerazione di organismi vegetali e animali di mole diversissima, dai minimi batteri alle piante gigantesche, forma uno strato di materia vivente dello spessore medio di 40-50 metri.

La vita è, dunque, caratterizzata dalla ubiquità della sua presenza, e dalla pressione che in ogni senso esercita per impadronirsi del più vasto dominio, per effettuare la massima sua esplicazione compatibile con le imprescindibili condizioni ambientali.

III

CARATTERISTICHE DELLA MATERIA VIVENTE

Crescendo, moltiplicandosi, invadendo la terra, la materia vivente rimane, nei suoi caratteri essenziali, immutata. Nel corso dei periodi geologici, ha presentato mutamenti più di forma che di proprietà chimiche e fisiche. Conforme alle scoperte più recenti della paleofitologia, le più antiche piante verdi dell'era paleozoica, furono d'una complessità di struttura inopinata, e stanno già a indicare una lunga evoluzione.

La vita si presenta oggi, come è sempre stata, congiunta colla materia organica allo stato colloidale e a un grado ottimo d'imbibizione acquosa. Gli elementi onde questa materia è costituita sono quei pochi, dei 92 conosciuti, che, per esser caratterizzati, diciamo così, da maggior socievolezza, in un tempo remotissimo e in condizioni eccezionalmente propizie, si aggregarono a comporla. I sali di sodio di potassio e di calcio, necessari per la sua costruzione, conservazione e normale attività, sono gli stessi, che si trovavano sciolti nelle calde acque dell'Oceano,

in cui quella materia verosimilmente si formò; e che si trovano oggi — mirate tenacità di virtù conservativa — nel sangue nostro, nelle stesse proporzioni relative, ancorchè in diversa concentrazione assoluta.

Gli è che la vita tende sopra tutto a realizzare la propria conservazione e il più vasto impero sulla terra. E se a tale effetto occorre che si adatti funzionalmente ed evolva forme nuove, nuove specie e varietà, ebbene queste produce, con più o meno lievi ritocchi del modello fondamentale, per crescente complessità e differenziazione di strutture e di funzioni, in una maniera che ignoriamo, ma verosimilmente con mutamenti della composizione e della struttura stereochimica delle molecole proteiche onde la materia alla quale è associata, è essenzialmente costituita.

Gli elementi onde questa materia è composta sono tra i più comuni della crosta terrestre : il carbonio, l'idrogeno, l'ossigeno, l'azoto e lo zolfo; il fosforo e il cloro; il sodio, il potassio, il calcio, e pochi altri; e di questi pochi risulta l'immensa varietà degli esseri viventi, come di soli 92 è composto il globo terracqueo, il sistema solare, e forse l'universo. E non solo nessun elemento essa contiene che non sia nella materia bruta, ma anche le leggi fisiche e chimiche, che governano i fenomeni del mondo inorganico, si verificano esattamente in quella. Il che non deve recar meraviglia, se si pensa che la vita attua il suo vasto programma di dominio, attirando nella materia alla quale è associata, incorporando in essa gli elementi del mondo inorganico, per assimilarli alla medesima e farla aumentare di massa.

E come materiali eterogenei sono assorbiti dagli organismi viventi, e utilizzati per l'accrescimento e la moltiplicazione; così accade che materie, divenute quasi scorie della vita, ne siano espulse, restituite al mondo esterno, dopo essere state travolte nel vortice vitale. Questa incessante migrazione di elementi dall'ambiente esterno negli organismi, e da questi in quello, che i fisiologi chiamano ricambio materiale; e le trasformazioni che vi subiscono, cioè, come dicono i fisiologi, il loro metabolismo materiale, e il metabolismo energetico che con questo va indissolubilmente associato; costituiscono una proprietà fisiologica fondamentale della materia vivente, per cui questa si distingue dalla non vivente. E ove sia riguardata nel suo tutto insieme, su tutta la superficie della terra e nella infinita successione dei periodi geologici, dal più antico archeozoico al presente, la migrazione di materia di cui parlo, veramente costituisce uno dei processi più grandiosi che mente umana possa contemplare; un processo del quale possiamo formarci un'idea lontanamente adeguata, se pensiamo che per esso si plasmano, non solamente le agglomerazioni vitali dianzi rammentate, ma perfino le colossali stratificazioni solide della biosfera. Infatti gli organismi che compongono quelle agglomerazioni, specie i microscopici e gli appena visibili a occhio

nudo (i Foraminiferi, le Diatomee, le Globigerine, i Coccoliti, i Pteropodi, i Radiolari, ecc.), sono essi gli assidui infaticabili costruttori del vasto suolo sottomarino, delle imponenti rocce emerse dalle profondità degli Oceani, e della immensa distesa delle regioni littoranee. La materia oggi inorganica di queste porzioni della biosfera fu un tempo parte della materia organica vivente e può esser considerata come creazione della vita.

IV

LA FOTOSINTESI DELLA MATERIA ORGANICA OPERATA DALLE CELLULE VERDI DELLE PIANTE

Il trasformatore naturale più efficiente di materia inorganica in organica è la cellula verde. Le alghe verdi unicellulari e le cellule verdi delle piante hanno creato e creano tuttodì la massima parte della materia organica sparsa sulla terra. L'incalcolabile quantità di energia, che sotto varie forme sviluppano gli organismi viventi, deriva, in ultima istanza, da quella parte dell'energia raggiante del sole, che le cellule verdi hanno potuto captare e trasformare in energia chimica. Gli zuccheri semplici sono la prima sostanza organica che le cellule verdi fabbricano dall'acqua e dall'anidride carbonica. Le piante ne trasformano poi una parte in polisaccaridi e in grassi, che sono depositati come materiali di riserva. Esse costruiscono ancora le più complesse sostanze organiche, le proteine, associando agli elementi dei carboidrati o dei grassi, l'azoto e lo zolfo, che assorbono coi nitrati e coi solfati del terreno. La sintesi delle proteine non è meno laboriosa dell'altra; e si svolge almeno in due tappe. In un primo tempo, dall'azoto e dallo zolfo dei nitrati e dei solfati ridotti, e da composti ternari derivati dagli zuccheri o dai grassi, le cellule vegetali fabbricano gli aminoacidi, che poi, in un secondo tempo, sono condensati in proteine, sostanze colloidali per eccellenza.

Ogni operazione sintetica esige impiego d'energia. Ma, mentre la sintesi degli idrati di carbonio utilizza una forma d'energia d'origine cosmica, l'energia raggiante del sole; la sintesi degli acidi grassi superiori e dei grassi neutri, dei lipoidi, delle proteine e di un'immensa varietà di altre sostanze organiche, impiega altre forme di energia, principalmente quella che nasce dall'ossidazione di una parte dello zucchero, e l'energia di superficie.

Ho parlato della cellula verde. Ma il vero trasformatore, però, è un *organulo* in essa contenuto, il *cloroplastidulo*, corpicciuolo composto di materia vivente differenziata e di un pigmento, o miscuglio di pigmenti, detto *clorofilla*.

I cloroplastiduli delle cellule verdi sono tanto piccoli, da misurare

appena dai 5 ai 10 millesimi di millimetro di diametro; e però vi si trovano in numero tanto grande, da potersene contare fino a 400.000 nelle cellule dei tessuti a palizzata e spugnoso sottostanti alla superficie di 1 millimetro quadrato di foglia. Una foglia grande di ricino comune, avente una superficie di 25 centimetri quadrati, contiene circa diecimila milioni di cloroplastiduli. Data la piccolezza di questi organuli, enorme è dunque lo sviluppo della superficie pigmentata, capace di assorbire la luce. La totale superficie verde di una pianta di ricino adulta ammonta, infatti, a circa 413 metri quadrati, e quella di una sola foglia, a circa 238 centimetri quadrati. L'enorme superficie spiega in parte la grande velocità con cui si svolge il processo della fotosintesi.

Sappiamo che appena il 0,5 per cento dell'energia raggiante del sole è utilizzato dalle piante verdi nel processo sintetico. Ma per quanto limitata sia l'efficienza del trasformatore, l'uomo, non solo è incapace di far di meglio, ma finora non è riuscito nemmeno a scoprire come precisamente quel processo si svolge. È riuscito, però, a riprodurlo sperimentalmente; e questa è stata veramente, dobbiamo convenirne, una conquista meravigliosa della chimica moderna, d'importanza enormemente maggiore, se non fosse la priorità, della sintesi dell'urea, ottenuta un secolo fa dal Wöhler.

V

I SISTEMI COLLOIDALI E LA RIPRODUZIONE SPERIMENTALE DELLA FOTOSINTESI DI SOSTANZE ORGANICHE SEMPLICI

La fotosintesi naturale avviene, non in soluzioni acquose, ma, come si è detto, nel cloroplastidulo, che è un sistema colloidale fornito di un pigmento capace di assorbire determinati gruppi di radiazioni luminose. Conforme a tale conoscenza, essendo riesciti vani i tentativi di fotosintesi del più semplice zucchero in soluzioni cristalloidali, gli sperimentatori capirono che bisognava utilizzare le proprietà caratteristiche dei sistemi colloidali; e propriamente dei colloidi inorganici, quali per esempio, quelli di silice, di allumina, di idrossido di ferro, ecc., che, come si trovano oggi sulla terra, così debbono essere anche esistiti nella biosfera, e forse in maggior copia e diffusione, nei tempi remotissimi, quando avvenne la prima evoluzione dei colloidi inorganici naturali dai cristalloidi. E non è difficile immaginare, come tale evoluzione avvenne, poichè oggi noi possiamo fabbricarli a volontà per dispersione elettrica di metalli, per polimerizzazione o associazione di piccole molecole in lunghe catene molecolari e in aggregati voluminosi di queste, con reazioni chimiche adeguate, ecc.

Per tale loro costituzione, i colloidi inorganici formano, non soluzioni vere, che sono sistemi omogenei, ma sistemi eterogenei, difasici o polifasici; cioè sistemi liquidi, nei quali la materia trovasi dispersa allo stato, non di molecole semplici o di ioni, ma di particelle ultramicroscopiche costituite di complessi molecolari o ionomolecolari, in un mezzo dispersivo, che può esser l'acqua o altro liquido qualsiasi; ovvero sistemi solidi, come la silice gelatinosa. In questo stato, detto colloidale, la materia trovasi, dunque, enormemente suddivisa in particelle minutissime, per lo più non visibili nemmeno coi più forti ingrandimenti microscopici, ma visibili all'ultramicroscopio. E poichè le particelle degli idrosoli e degli idrogeli sono bensì bagnate dall'acqua, ma con questa non miscibili, in essa insolubili, ecco che viene a svilupparsi, anche da una piccola massa di materia, una immensa superficie di contatto tra le sue particelle, e l'acqua in cui sono sospese. In altre parole, il sistema colloidale è un sistema fornito di una grande quantità di energia di superficie; un sistema dinamico, come oggi si amerebbe dire, la cui energia di superficie non potendo nascere dal nulla — *ex nihilo nil fit* — è un prodotto di trasformazione dell'energia impiegata per effettuare la suddivisione in particelle ultramicroscopiche della materia costituente la fase dispersa.

Ora, alle interfacie di tali sistemi dispersi, le reazioni chimiche sogliono procedere con maggiore velocità; sono, come diciamo, catalizzate; e non le sole reazioni di scissione, semplici o idrolitiche, ma anche le reazioni sintetiche, quando vi concorra un'energia libera capace di trasformarsi, essendo in parte assorbita dal sistema, nell'energia chimica delle sostanze sintetizzate.

Oltre di ciò, nei sistemi difasici, quali sono gli idrosoli e gli idrogeli, le molecole onde sono costituite le due fasi, all'interfacie per lo più si orientano, le superficiali di ciascuna fase fra loro e rispetto a quelle della rispettiva massa interna; e tanto più regolarmente si orientano, quanto più le molecole risultano di una porzione apolare e di una polare; condizione, quest'ultima, che favorisce la formazione di sostanze di natura colloidale, cioè di sostanze dotate di potere emulsionante (saponi, acidi biliari), detergente (saponi), non che della capacità di gelificare e di formare coaguli e precipitati (saponi, proteine).

Ora l'orientamento è già un principio di organamento, di differenziazione strutturale. Non sembrerà quindi ardita l'ipotesi, che l'orientamento interfacciale eserciti, nei sistemi colloidali, un'influenza organatrice sulle molecole delle sostanze adsorbite, nell'atto medesimo in cui esse, cooperando l'energia raggiante o altra energia libera, reagiscono combinandosi nel prodotto sintetico.

Se si pensa che le sostanze organiche semplici formantisi per sintesi fisiologica o sperimentale sono otticamente attive, specie gli zuccheri

semplici e gli aminoacidi, e che pertanto svelano un organamento interno, una struttura asimmetrica, si comprenderà, poichè tali esse non possono esser plasmate se non per la struttura asimmetrica dell'agente catalizzatore, sia inorganico come el granulo colloidale, o organico, come l'enzima; si comprende, dico, l'enorme importanza che ai sistemi colloidali deve essere riconosciuta nella fotosintesi, naturale o sperimentale, delle sostanze organiche semplici, e la necessità che essi siano ritenuti fattori essenziali della prima comparsa della materia vivente sulla terra.

Dopo molti tentativi infruttuosi, incominciati nel 1911. Benjamin Moore riuscì finalmente, facendo agire la luce di una lampada di quarzo a mercurio sopra una soluzione colloidale di idrossido di uranio o di ferro o di alluminio, contenuta in un recipiente di quarzo e attraverso la quale gorgogliava anidride carbonica, a ottenere un po' di formaldeide, che è il primo prodotto della fotosintesi naturale; e poi, aumentando la concentrazione di essa, evidente formazione di sostanze riducenti. Significativa è la indispensabilità, perchè la sintesi proceda, di un accettore dell'ossigeno atomico nascente, che altrimenti attossica il trasformatore. Moore usò a tal fine un sale di ferro. Nel cloroplastidulo pare che da accettore faccia uno dei due pigmenti onde risulta la clorofilla, non il ferro, che è bensì indispensabile per la formazione della clorofilla, ma in questa poi non si trova. Un enzima probabilmente catalizza la scissione del prodotto ossidato, dando luogo alla liberazione dell'ossigeno molecolare innocuo, e alla restituzione del pigmento nello stato primitivo.

Ripresi recentemente dal Baly, gli esperimenti di fotosintesi hanno dato risultati assai più importanti. La sintesi avviene nell'acqua satura di anidride carbonica, solo quando sia esposta all'azione di raggi ultravioletti della lunghezza d'onda di circa 200 milionesimi di millimetro. Ma il metodo naturale impiega radiazioni visibili di maggior lunghezza d'onda, da 350 milionesimi di millimetro in su. Oltre di ciò, il calcolo ci dice, che, per sintetizzare una grammomolecola (cioè 180 grammi) di zucchero semplice (glicoso o fruttosio), bisogna fornire all'acido carbonico una quantità di energia equivalente a 673.800 Calorie, mentre tale sintesi è operata dalle cellule verdi con una quantità di energia equivalente a sole 260.000 Calorie, qual'è quella che può esser fornita dalle radiazioni rosse della lunghezza d'onda di 660 milionesimi di millimetro. Vuol dire che nella sintesi naturale interviene un fattore energetico complementare. Ora, già gli esperimenti di Moore avevano dimostrato, che lo stesso composto inorganico (sale di uranio o di ferro, ecc.), è assai più efficiente quando si trova allo stato colloidale. Similmente, Baly ha osservato, che non solo il maggiore rendimento di prodotto sintetico si raggiunge quando il composto inorganico si trova allo stato colloidale, ma che in presenza di un idrosol colorato, per esempio, di carbonato di nichelio o di cobalto, la sintesi

sperimentale avviene anche sotto l'azione della luce visibile emessa da un'ordinaria lampada a filamento di tungsteno, cioè di radiazioni di lunghezza d'onda minore di quella dei raggi ultravioletti. In tali condizioni, che riproducono assai d'avvicino le condizioni naturali, Baly ha potuto dimostrare nel liquido irradiato la presenza di quantità considerevoli di sostanze riducenti, identificate per glicosio e fruttosio, o per un miscuglio di idrati di carbonio più complessi. Paragonando poi le quantità di prodotto sintetico ottenuto per eguali aree di superficie esposta alla luce, nel caso della sintesi sperimentale e in quello della sintesi naturale, ha trovato che sono quasi le stesse.

Il mistero della fotosintesi naturale è, dunque, per buona parte svelato. Perchè si compia, occorre l'energia raggianti, e un trasformatore costituito da un sistema colloidale agente da fotocatalista, sia l'idrossido di ferro o altro colloide inorganico, sia il cloroplastidulo, il cui pigmento, fluorescente, serve, conforme alla legge di Grotthus, ad assorbire le radiazioni rossoaranciate, che forniscono l'energia occorrente per il processo sintetico, e forse anche, come da alcuni si ammette, ad emetterle trasformate in radiazioni di lunghezza d'onda minore e maggiore frequenza.

E non solamente la fotosintesi degli zuccheri, sostanze ternarie, è stata ottenuta sperimentalmente, ma anche quella di alcune semplici sostanze azotate, indispensabili per la formazione delle proteine e dell'acido nucleinico.

Baly e collaboratori hanno infatti trovato, che la luce ultravioletta provoca, in soluzioni di nitrato di potassio saturate di CO_2 , la formazione di nitriti e di formaldeide, che reagiscono subito tra loro producendo acido formidrossamico, il quale si combina con altra formaldeide dando origine a una varietà di prodotti, tra i quali fu possibile identificare gliossalina, due corpi di natura alcaloidea, α -amminoacidi semplici e altri sostituiti del tipo dell'istidina, metilamina, e perfino piridina, derivante dalla azione della formaldeide fotochimicamente attivata su ammoniacca, e anche corpi del tipo del pirrolo, della pirrolidina, e della piperidina, sostanze che sono formate naturalmente anche dalle piante.

Per condensazione di aminoacidi deve essere poi avvenuta la formazione delle proteine più semplici, che sono le protamine, e poi delle più complesse. E anche questa condensazione è stata ottenuta sperimentalmente. I più alti polipeptidi ottenuti da Emilio Fischer presentano infatti le proprietà fondamentali delle proteine, non esclusa la colloidità. I polipeptidi sintetici possono considerarsi come simili ai peptoni e ai proteosi, che sono normali prodotti della digestione gastrica delle sostanze proteiche alimentari. Ora dei peptoni e proteosi si è potuto ottenere la condensazione in sostanze complesse come le proteine, alle quali è stato dato il nome di *plasteine*, facendo agire sopra soluzioni concen-

trate dei medesimi gli stessi enzimi proteolitici dei succhi gastrico e pancreatico. Questa formazione delle plasteine non può essere considerata come riproduzione *in vitro* della formazione naturale delle proteine, ma ne è senza dubbio un modello.

La cellula vivente è, però, un sistema morfologicamente e funzionalmente costituito di almeno due meccanismi, il citoplasma e il nucleo: il primo è composto principalmente di glicolipoproteine, il secondo di nucleoproteine. Queste ultime sono caratterizzate dal loro componente non proteico, che è l'acido nucleinico, il quale è costituito di acido fosforico, di un glicide e di quattro corpi azotati semplici, due purinici, e due pirimidinici.

Poichè questi corpi azotati semplici e lo zucchero si formano per fotosintesi nella maniera dianzi detta, e l'acido fosforico è un corpo inorganico esistente in natura, nulla vieta *a priori* di ammettere, che un acido nucleinico vegetale, o forse prima, uno dei nucleotidi componenti l'acido nucleinico, siasi formato anch'esso per fotosintesi in un periodo remotissimo della storia del nostro globo; e che, dato l'influsso anabolico, che la sostanza nucleare esercita sulla materia citoplasmica, sotto tale influsso siasi formati i complessi colloidali del primordiale protoplasma, e siano apparse sulla terra le prime cellule libere.

A questo punto vien voglia di chiedersi, come mai la prima materia vivente abbia assunto la forma di microscopici globetti, che è poi quella degl'infimi batteri e delle cellule libere. Ebbene, Lecomte Du Noiïy ha dimostrato che la più probabile configurazione d'equilibrio di una soluzione colloidale proteica è appunto quella rappresentata dalla cellula, perchè questa forma possiede il minimo d'energia libera compatibile con l'energia totale del sistema. Se una gocciolina di soluzione proteica, che con l'acqua è miscibile, è spruzzata nell'aria, le molecole colloidali si orientano all'interfacie in maniera da stabilire l'equilibrio termodinamico, e da comporre uno strato superficiale di sostanza assai più viscosa della interna. Se la gocciolina ha un diametro di dieci millesimi di millimetro, l'equilibrio si stabilisce in circa un secondo; e se si stabilisce prima che la gocciolina sia caduta, lo strato superficiale di molecole proteiche concentrate raggiunge tale consistenza e resistenza da assicurare alla gocciolina il mantenimento della sua forma anche quando tocca una superficie asciutta. La presenza de anidride carbonica, oppure l'azione dei raggi ultravioletti, è sufficiente a fornire allo strato proteico superficiale tale consistenza da permettere alla gocciolina di conservare la sua individualità durante la caduta per acqua pura. S'intuisce pertanto la ragione fisica della suddivisione in minute cellule della materia vivente; la quale così realizza, per giunta, uno sviluppo enorme della superficie. Verosimilmente, alla conservazione della forma e della individualità delle cellule assai deve aver contribuito la sua immiscibilità

con l'acqua, probabilmente dovuta anche al fatto, che le proteine del protoplama hanno contratto unione con molecole lipoidiche, le quali in acqua sono insolubili.

Alla conservazione delle forme degli organismi contribuisce moltissimo pure il fatto, che i sistemi colloidali solidi, onde essi sono fabbricati, hanno questo di particolare, che, partecipando pigramente alle reazioni chimiche, possono costituire il crogiuolo in cui le reazioni si svolgono senza che queste profondamente lo intacchino, la pietra del focolare, su cui arde ininterrottamente la fiamma della vita, senza che questa gravemente la sgretoli, la corroda; e ancora che, essendo i medesimi sistemi caratterizzati da un grado cospicuo di plasticità, senza esser privi di elasticità, a inusitate condizioni esteriori essi piegano, senza frangersi, adattandosi.

VI

DOVE, CUANDO, IN QUALI CONDIZIONI, CON QUALE FORMA E QUALI PROPRIETÀ FONDAMENTALI COMPARVE LA MATERIA VIVENTE

Vale la pena d'indagare dove, quando, in quali condizioni, con quale composizione e quali proprietà fondamentali caratteristiche può esser sorta la materia vivente.

La materia vivente può esser comparsa in un periodo geologico antichissimo, perchè la prima flora fossile, di cui abbiamo notizia, la Algonkiana dell'America del Nord, descritta da Wacott, che rimonta a un periodo molto più antico del Cambriano, è già quasi interamente rappresentata da alghe blu-verdi e da batteri. E, senza dubbio, deve essere apparsa non prima che l'acqua cominciasse a condensarsi sul nostro pianeta; perchè, come non possiamo concepire vita fisiologica disgiunta dallo stato colloidale della materia, così non possiamo concepirla nemmeno indipendentemente dalla presenza di acqua liquida, che è il mezzo necessario per gli scambi materiali col mondo esterno.

In quel periodo, la temperatura della biosfera deve essere stata notevolmente più alta dell'odierna. Ma appunto si sa che le infime forme di vita resistono a temperature esterne assai più elevate e più basse di quella che consideriamo come ottima per gli organismi differenziati. Le alghe blu-verdi unicellulari costituiscono infatti la vegetazione dominante delle sorgenti termali; i Protisti, in generale, si sviluppano rigogliosamente ai tropici; alcuni batteri, e più ancora le loro spore, resistono a temperature altissime. D'altro canto se ne trovano di vivi nella neve; a -200°C la loro vita diviene latente, ma non si spegne; e i gelidi laghi dell'Antartide abbondano di Cianoficee. Può darsi che la

termostabilità degli infimi esseri, viventi oggi attorno alle sorgenti termali, sia risultato di adattamento; ma non può escludersi che rappresenti un carattere ereditario.

E se l'acqua e i composti minerali in essa sciolti debbono ritenersi condizioni indispensabili della prima comparsa della materia vivente, possiamo legittimamente supporre che si generasse nel mare, che dal mare, come ho detto, essa sorgesse. La profonda osservazione di Macallum, che gli elettroliti necessari per la conservazione dei tessuti viventi e per il normale svolgimento delle loro funzioni, sono qualitativamente gli stessi nel sangue degli animali e nell'acqua dell'Oceano, e si trovano in quello e in questa sciolti nella medesima proporzione relativa, costituisce quasi una prova sperimentale a sostegno dell'origine oceanica della vita. Per quanto riguarda poi, la concentrazione molecolare totale del sangue, 34 anni or sono io osservai che gli animali marini odierni possono distinguersi in due vastissimi gruppi: dei *pecilosmotici*, il cui sangue presenta una concentrazione molecolare praticamente eguale a quella dell'acqua marina in cui vivono; e degli *omeosmotici*, il cui sangue ne ha una inferiore, entro certi limiti indipendente da essa, e praticamente costante. Omeosmotici sono i pesci ossei e gli altri animali superiori adattati alla vita marittima; pecilosmotici, tutti gli animali inferiori acquatici, siano Vertebrati o Invertebrati. Data la loro pecilosmicità, questi, che debbono esser comparsi in periodi anteriori, nulla possono dirci della concentrazione molecolare dei mari antichissimi. Ma la concentrazione molecolare del sangue degli Omeosmotici, gruppo che comprende anche gli animali terrestri, non esclusi i Mammiferi e l'Uomo, verosimilmente è il riflesso di quella dei mari in cui nacquero i loro remotissimi antenati. Il sangue, dunque, che almeno per quanto riguarda i più bassi organismi e il suo contenuto in componenti chimici inorganici, può forse esser considerato come una porzione dell'ambiente liquido esterno racchiusa nel loro corpo, mentre ci attesta l'origine marina della materia che costituì il sostrato della vita, ci svela ancora la composizione salina relativa, e negli Omeosmitici, la concentrazione molecolare dell'Oceano in cui si generarono i primi esseri viventi.

Accanto all'acqua e alle sostanze inorganiche, altra condizione, che oggi tutti riconosciamo come indispensabile per la vita, è la presenza di ossigeno libero. Attualmente, la vita normale è essenzialmente aerobica, e l'anaerobica rappresenta solo un'eccezione, un adattamento particolare. Ma vi sono scienziati autorevolissimi, i quali ammettono che, almeno dal periodo archeozoico in poi, l'ossigeno libero è esclusivo prodotto della fotosintesi operata dalle piante verdi. Se così fosse, la primitiva materia vivente dovrebbe esser sorta in condizioni di anaerobiosi; e vi sarebbe stato sulla terra, per quanto breve, perchè cessato colla comparsa dei primi Protofiti verdi, un periodo di generale anaerobiosi. In realtà, se

pensiamo che di anaerobiosi sono capaci soltanto esseri di bassa organizzazione, non dovremmo superare, forse, gravi difficoltà per ammettere, che la primitiva materia vivente abbia tratto l'energia occorrente per lo svolgimento delle sue elementari attività dalla semplice scissione di sostanze organiche, quali per esempio, gl'idrati di carbonio, anzichè dalla ossidazione dei medesimi.

Gli organismi viventi possono essere distinti in *autotrofi* ed *eterotrofi*, trascurandone alcuni che possono vivere alla maniera degli uni e degli altri, e che perciò sono stati detti *mixotrofi*. *Eterotrofi* per eccellenza sono gli animali, i funghi, e alcuni microrganismi saprofiti e parassiti; e sono detti così, perchè non sono capaci di fabbricare sostanza organica da composti inorganici, onde sono obbligati a utilizzare la sostanza organica fabbricata dagli organismi autotrofi.

Organismi *autotrofi* per eccellenza sono le piante verdi, le alghe unicellulari verdi, che dall'acido carbonico fabbricano materia organica, in cui rimane imprigionata l'energia raggiante del sole; e autotrofi sono pure alcuni batteri, che la fabbricano impiegando, nel processo sintetico, invece dell'energia raggiante del sole, quella che si sviluppa dall'ossidazione di materiali inorganici non ossidati (come l'azoto atmosferico, lo zolfo, il ferro, ecc.), o poco ossidati.

È evidente, che l'esistenza degli organismi eterotrofi è indissolubilmente legata a quella degli autotrofi, e ne dipende. Noi non possiamo ammettere, quindi, che gli eterotrofi siano comparsi sulla terra prima degli autotrofi, particolarmente prima degli organismi vegetali verdi. Necessariamente la primordiale materia vivente deve essere stata dotata di autotrofismo anaerobico.

Già mi è occorso di accennare, che la vita deve esser comparsa, non già nella forma di esseri organizzati sia pure come i più bassi e semplici che oggi conosciamo, ma piuttosto associata con una materia colloidale organica, di composizione chimica bensì complessa, ma di struttura semplicissima, se non addirittura priva di qualsiasi struttura morfologica.

Gl'infimi esseri oggi viventi, le alghe unicellulari, i batteri, i cocci, si presentano già con una organizzazione definita, per quanto semplice.

Ma c'è ancora un'altro punto da discutere. La materia vivente ci si presenta attualmente in forma di esseri unicellulari liberi o di cellule associate a comporre gli organismi multicellulari, metafiti o metazoi. Ora la cellula stessa, l'unità morfologica e fisiologica elementare, è già un sistema complesso, essendo costituito, come ho già accennato, di due parti, le quali, sebbene si trovino sempre intimamente, anzi indissolubilmente insieme associate, tuttavia sono nettamente distinte, sia dal punto di vista della struttura, sia da quello della composizione chimica, del metabolismo e dell'attività funzionale. Le due parti sono il nucleo e il citoplasma. Poichè il duplice meccanismo, nucleare e citoplasmico,

implica una struttura già evoluta, e noi abbiamo ammesso che la primordiale materia vivente deve essere stata amorfa, sorge la questione, se sia comparsa prima la materia citoplasmica o la nucleare.

In verità, nelle Monere di Haeckel, che dovevano essere minuscole masse di citoplasma anucleato, è stato poi trovato un nucleo definito. Tuttavia, le *Cromacee*, alghe unicellulari blu-verdi che fanno parte del gruppo delle Monere, ne sono prive. Ma è stato recentemente osservato, fra gli altri da Minchin, che i vari nuclei dei Protozoi rappresentano stadii nella evoluzione del nucleo degli organismi superiori, e che una serie analoga di stadii successivi nei Protofiti caratterizza l'evoluzione del nucleo delle piante. Parrebbe, quindi, che masse citoplasmiche anucleate siano potute veramente esistere, vale a dire che la materia nucleare possa esser comparsa posteriormente alla citoplasmica.

D'altro canto si sa, che i batteri, vale a dire gl'infimi esseri viventi, d'origine remotissima e quasi privi di struttura morfologica, sono costituiti quasi esclusivamente da materia nucleare. Importante inoltre è il fatto, che il protide combinato con l'acido nucleinico a formare la sostanza nucleare dei bacilli tubercolari, e forse di molti altri batteri, è una protamina, cioè uno dei più semplici protidi. Questi fatti, di per sè soli, farebbero credere che la prima materia organica presentante i caratteri fondamentali della materia vivente, sia stata del tipo della odierna materia nucleare, e che solo più tardi, attorno ad essa, come attorno a un centro di emissione d'infussi biochimici di natura sintetica, si sia formato il citoplasma. Ma altri argomenti possono essere invocati ancora a sostegno di questa ipotesi. Abbiamo già accennato alla minore complessità di composizione dei nucleotidi, dei quali un polimero è l'acido nucleinico, onde questo è considerato come un polinucleotide; e all'ufficio trofico che il nucleo esercita nelle cellule; mentre il citoplasma si è differenziato piuttosto nel senso da esercitare quelle che noi distinguiamo come attività funzionali dei tessuti. Ora il trofismo assimilativo è la proprietà fisiologica fondamentale della materia vivente, come quello che ne determina l'accrescimento la conservazione e la riproduzione. È verosimile, quindi, che sia comparsa prima quella materia che si dimostra dotata per eccellenza di attività biochimica assimilativa. È nota, inoltre, l'incomparabile attività catalitica che i batteri esercitano su ogni processo biochimico, e la loro prodigiosa capacità di moltiplicarsi. Ora, se i batteri sono costituiti, in certi casi quasi esclusivamente, di sostanza nucleare, non è inverosimile che simile alla sostanza nucleare batterica sia stata la primitiva materia vivente, che dobbiamo ritenere dotata di analoghe proprietà generali. Merita finalmente d'essere rilevato, sempre a sostegno di questa ipotesi, che nel fenomeno della moltiplicazione cellulare l'iniziativa e la parte principale spettano al nucleo.

In conclusione, ipotesi attendibile sembra essere, che la primordiale

materia vivente sia stata del tipo della materia nucleare, e sia apparsa come materia amorfa semplicissima, forse più semplice del Batteriofago di d'Herelle, che è ritenuto la più piccola e più semplice unità di materia vivente oggi conosciuta, probabilmente dotata, come la primordiale materia vivente, della proprietà di riprodursi per quel meccanismo che Jerome Alexander ha chiamato « catalisi riproduttiva ».

VII

IL PROBLEMA DELLA MORTE

L'accrescimento e la riproduzione assicurano il dominio della vita, compensando l'incessante distruzione di materia vivente causata dalla morte.

Ed ecco che ci si para, dunque, dinanzi il misterioso problema della morte. Perchè si muore? Come mai la morte è la compagna inesorabile della vita? Se vogliamo investigare il problema, non da poeti ma da naturalisti, dobbiamo in primo luogo rilevare, che mortale è, non la materia vivente, ma gli organismi di essa composti; e non tutti gli organismi ma solo quelli più complessi, multicellulari; e che perfino di questi, non tutto muore, ma solamente il soma. I batteri, gl'infusori, spontaneamente non muoiono. Di essi cessa di esistere l'individuo, ma non muore; infatti non ne rimane spoglia mortale. L'infusorio cessa di esistere come individuo quando si scinde per dare origine a due individui simili. La moria, che talora colpisce le colture d'infusori, è un fenomeno contingente, che può essere evitato con adeguate misure. Gl'Infusori sono immortali.

Ma anche degli animali superiori, anche di noi, non tutto perisce. Una parte del nostro corpo, piccola ma d'importanza capitale; una parte, la quale trovasi annidata in un organo, che la protegge, sopravvive a noi; e come a noi discende da i nostri genitori, da noi si trasmette e perpetua nei nostri figli. È il plasma germinativo, che è dunque pur esso immortale; è la materia vivente semplice delle cellule germinali, indifferenziata e pur gravida di tutti i caratteri in essa rimasti impressi durante il suo propagarsi per le generazioni successive, forse alla stessa maniera che gli engrammi si producono e rimangono impressi nella materia vivente in generale.

Muore il soma, e anche delle innumerevoli cellule germinali, che le gonadi con lussureggiante provvidenza producono quelle poche o pochissime sopravvivono che hanno modo di congiungersi nell'atto della fecondazione. Sono dunque pochi milligrammi di materia vivente che sopravvivono. Che importa? Diecine di chilogrammi o di quintali di

materia somatica hanno vissuto per custodire quel briciolo di plasma germinativo e assicurarne la continuità.

Non sappiamo come la fecondazione salvi le cellule germinali dalla morte; ma incominciamo a veder chiaro nella causa della morte delle cellule somatiche.

Intanto, non è la fecondazione, per sè, che conferisce il dono della immortalità. Condizione essenziale della sopravvivenza è, che gli organismi unicellulari possano periodicamente trapiantarsi in ambiente nel quale organismi simili non abbiano già vegetato, e che le cellule germinali o somatiche, dei metafiti o dei metazoi, abbandonino l'organismo di cui facevano parte, si isolino dalle compagne con le quali formavano tessuti e organi, e passino in ambiente nel quale possano nutrirsi, crescere e moltiplicarsi.

La riproduzione per divisione cariocinetica e l'accrescimento sono governati dal rapporto quantitativo tra la massa nucleare e la massa protoplasmica. Come tale rapporto nucleoplasmatico, col progredire dello sviluppo ontogenetico, scema e raggiunge un certo valore limite inferiore. prima cessa la capacità delle cellule somatiche di moltiplicarsi, e poi anche quella di crescere. Parallelamente al diminuire del rapporto nucleoplasmatico si svolge però nelle medesime un altro processo della massima importanza. Il protoplasma cellulare si differenzia, e genera le strutture, per cui si distinguono l'uno dall'altro i tessuti, e alle quali corrispondono le varie funzioni specifiche di questi.

Il differenziarsi delle strutture citoplasmiche e delle attività funzionali implica dunque il progressivo affievolirsi dell'attività riproduttiva della materia vivente. Le cellule si perfezionano funzionalmente, ma non potendo più riprodursi, cioè ringiovanire, sono perciò stesso inesorabilmente votate all'invecchiamento e alla morte. Separate dalle loro compagne, ringiovaniscono semplificandosi, tornano a riacquistare il potere di riprodursi, caratteristico della materia vivente germinale.

È dunque a prezzo della immortalità che l'incalcolabile massa di materia vivente costruita nei secoli dei secoli ha pagato il suo organizzarsi in individui sempre più complessi, il suo differenziarsi in tessuti e organi dotati di attività funzionali specifiche, e dunque il suo evolversi verso gradi sempre maggiori di perfezione.

Se, però, la ragione della morte è essenzialmente intrinseca, è anche vero che molteplici cause mortifere agiscono dall'esterno sugli esseri viventi, e che ogni perfezionamento del soma si risolve in aumento e perfezionamento dei mezzi atti a proteggerli, e ad assicurare la continuità del plasma germinativo. Purchè questa sia assicurata, non importa che l'individuo perisca, se i germi ne trasmettono i perfezionamenti acquisiti, quelli che riguardano la vita psichica non meno dei concernenti la vita vegetativa e di relazione.

La vita fa di se un sacrificio quantitativo per elevarsi qualitativamente. In realtà, quindi, la morte non ha ragione della vita.

VIII

CONCLUSIONE

Ho tentato di raffigurare certi lineamenti del processo che culminò nella comparsa sulla terra, di quella estremamente complessa materia organica, alla quale si presenta associata la vita; presentandovi i fatti e gli argomenti che possono essere allegati a sostegno dell'ipotesi della sua generazione spontanea. Ma è nostro destino, che dei processi naturali si pervenga a intendere, quando ci si perviene, sia pure lentamente, le manifestazioni sensibili, e qualche volta magari a riprodurli sperimentalmente, senza per altro giungere alla conoscenza dell'intimo loro determinismo.

Ma quand'anche non si riesca a costruire noi mai, nei nostri laboratori, un briciolo di materia vivente, l'insuccesso, come non infirma le vedute che son venute esponendovi più che la nostra inabilità a costruire un pianeta non infirmi le vedute odierne circa la struttura e la meccanica dell'universo, così non disanima, nè ci distoglie dalla ricerca.

Il naturalista sperimentatore getta l'arco dell'ipotesi verso l'ignoto, e sopra di esso animoso si avvia, sospinto dalla passione del cercare più che dall'ambizione di raggiungere la mèta; conscio per altro della verità, che i benefizi derivanti per via dalla ricerca pura valgono essi solo le fatiche che dura avanzando per l'aspro cammino con ostinato rigore.

L'ipotesi della generazione spontanea della materia vivente sembrerà eretica ad alcuni. Essa è però scientifica. Ora la scienza non restringe, ma anzi dilata e sublima l'idea di Dio, perchè trasporta ed innalza l'onnipotente attività di Lui dalla creazione del singolo essere vivente, particella impalpabile al confronto con l'universo, alla creazione della materia e dell'energia e delle supreme leggi che, governandole, conducono a quella generazione che erroneamente noi diciamo spontanea, per vie e modi che Dio ha voluto lasciare, dono inestimabile, allo scrutinio dello spirito infaticabilmente indagatore dell'uomo.